

PERHITUNGAN BEBAN GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG BERDASARKAN STANDAR GEMPA INDONESIA YANG BARU¹

Himawan Indarto²

ABSTRAK

Dengan adanya standar gempa Indonesia yang baru yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), maka standar gempa yang lama yaitu SNI 03-1726-1989, tidak dapat lagi digunakan untuk perencanaan struktur. Salah satu perbedaan yang mendasar antara standar gempa yang baru dengan standar yang lama adalah, digunakannya periode ulang gempa yang berbeda untuk menentukan beban gempa rencana yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung. Seperti diketahui, untuk periode ulang gempa yang berbeda, maka pengaruh gempa tersebut pada struktur bangunan juga akan berbeda. Tulisan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran mengenai standar gempa yang baru (SNI Gempa 2002), dan aplikasinya di dalam perencanaan struktur bangunan gedung.

Kata kunci : Beban gempa, waktu getar struktur, SNI Gempa 2002

PENDAHULUAN

Dengan adanya standar gempa Indonesia yang baru yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002), hal ini menekankan tidak berlakunya lagi standar gempa yang lama yaitu SNI 03-1726-1989. Hal ini penting karena menurut standar yang baru ini, Gempa Rencana untuk perhitungan beban gempa pada struktur bangunan gedung, mempunyai periode ulang 500 tahun, sedangkan menurut standar yang lama periode ulang tersebut hanya 200 tahun. Seperti diketahui, semakin panjang periode ulang suatu gempa, akan semakin besar juga pengaruh gempa tersebut pada struktur bangunan. Di samping itu, di dalam standar yang baru ini diberikan juga definisi baru mengenai jenis tanah yang berbeda dengan yang tercantum dalam standar yang lama.

Dengan demikian, standar gempa yang lama tidak dapat digunakan lagi untuk perencanaan. Meskipun demikian, struktur bangunan gedung yang sudah ada yang ketahanan gempanya telah direncanakan berdasarkan standar lama, ketahanan tersebut pada umumnya masih cukup memadai. Untuk hal ini dapat dikemukakan beberapa alasan. Pertama, Faktor

Reduksi Gempa (R) menurut standar lama adalah relatif lebih kecil dari pada menurut standar yang baru. Misalnya untuk struktur yang direncanakan bersifat daktail penuh, menurut standar lama besarnya $R = 6$, sedangkan menurut standar yang baru $R = 8,5$, sehingga untuk periode ulang gempa yang berbeda beban gempa yang harus diperhitungkan menurut standar lama dan standar baru saling mendekati. Kedua, dengan definisi jenis tanah yang baru. Banyak jenis tanah yang menurut standar lama termasuk jenis tanah lunak, menurut standar baru termasuk jenis tanah sedang, sehingga beban gempa yang perlu diperhitungkan lebih saling mendekati lagi. Ketiga, bangunan gedung yang sudah ada telah menjalani sebagian dari umur rencananya, sehingga dengan risiko yang sama terjadinya keruntuhan struktur dalam sisa umur rencananya, beban gempa yang harus diperhitungkan menjadi relatif lebih rendah dari pada menurut standar yang baru untuk bangunan gedung baru.

Meskipun menggunakan periode ulang gempa yang berbeda, tetapi baik standar gempa yang lama maupun yang baru menggunakan falsafah perencanaan ketahanan gempa yang sama, yaitu bahwa akibat gempa kuat, struktur

¹ PILAR Volume 14, Nomor 1, April 2005 : halaman 42 - 57

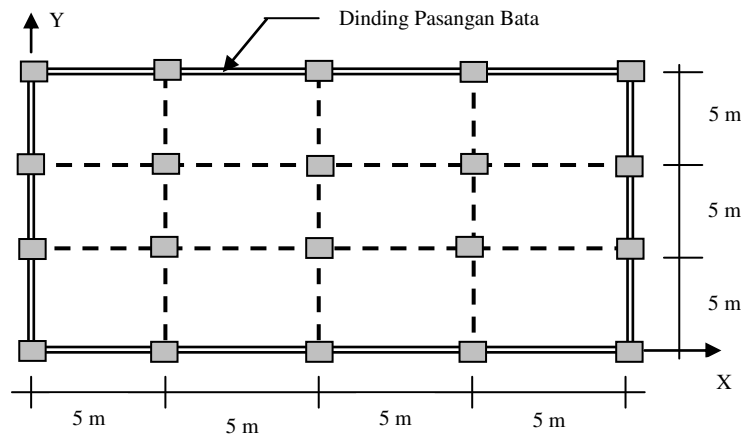
² Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

bangunan dapat mengalami kerusakan yang berat tetapi tidak diperkenankan untuk runtuh, hal ini dapat mencegah jatuhnya korban manusia. Sedangkan akibat gempa ringan sampai gempa sedang, kenyamanan penghunian tetap terjamin, kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki dan pelayanan dari fungsi bangunan tetap dapat berjalan.

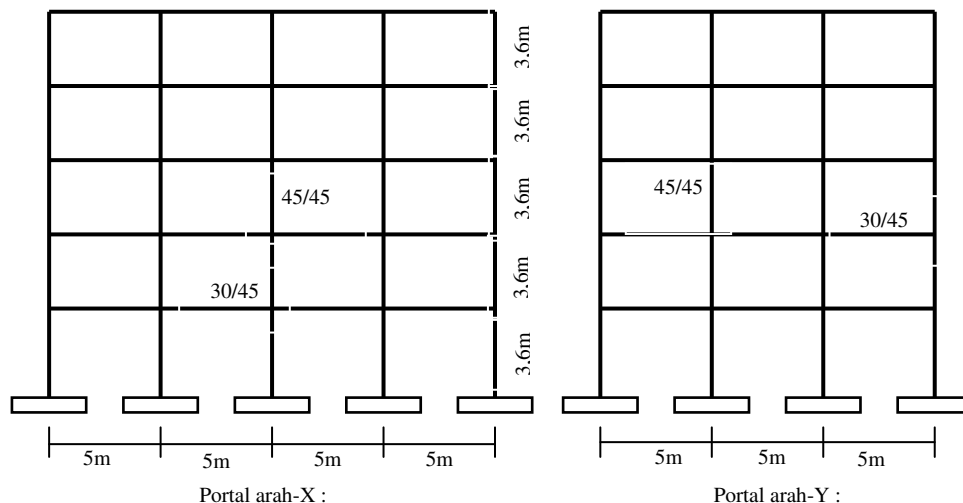
Untuk memberikan gambaran mengenai standar gempa yang baru (SNI Gempa 2002), di bawah ini diberikan contoh perhitungan beban gempa pada bangunan gedung dengan menggunakan metode Analisis Statik Ekuivalen. Prosedur perhitungan mengacu pada buku standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002).

DENAH DAN KONFIGURASI STRUKTUR

Pada contoh perhitungan ini, akan dihitung besarnya distribusi gaya gempa yang diperkirakan akan bekerja pada suatu struktur bangunan gedung perkantoran bertingkat 5 yang dibangun di kota Jogjakarta. Denah bangunan diperlihatkan pada Gambar 1, dimana Lantai 1 sampai dengan Lantai 5 mempunyai denah yang tipikal. Konfigurasi struktur bangunan pada kedua arah sumbu utama bangunan diperlihatkan pada Gambar 2. Distribusi beban gempa akan dihitung untuk masing-masing arah sumbu utama bangunan (arah-X dan arah-Y).



Gambar 1. Denah struktur bangunan gedung



Gambar 2. Konfigurasi sistem portal arah X dan portal arah Y

Ketebalan pelat atap (Lantai 5) 10 cm, dan tebal pelat Lantai 1 sampai dengan Lantai 4 adalah 12 cm. Ukuran seluruh balok adalah 45/30 cm, dan ukuran seluruh kolom adalah 45/45 cm. Tinggi antar tingkat 3,6 m, dan di sekeliling dinding luar bangunan, terdapat pasangan tembok batu bata. Beban hidup yang bekerja pada pelat atap diperhitungkan sebesar 100 kg/m^2 , dan pada pelat lantai sebesar 250 kg/m^2 . Berat jenis beton 2400 kg/m^3 dan modulus elastisitas beton $E = 200000 \text{ kg/cm}^2$. Karena bangunan gedung termasuk bangunan bertingkat rendah, dan kota Jogjakarta terletak pada wilayah kegempaan sedang (terletak di zona 4 pada Peta Wilayah Gempa Indonesia), maka sistem struktur akan direncanakan menggunakan portal beton bertulang biasa yang bersifat.

Pengaruh beban gempa pada bangunan gedung dapat dianalisis dengan menggunakan metode analisis statik atau analisis dinamik. Untuk bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan, pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dapat dianggap sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen yang bekerja pada pusat massa lantai-lantai tingkat. Pengaruh beban gempa nominal statik ekuivalen pada bangunan gedung dapat dianalisis dengan metode Analisis Statik Ekuivalen.

Struktur bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan pada umumnya simetris dalam denah, dengan sistem struktur yang terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah tersebut. Apabila untuk analisis 3D sumbu-sumbu koordinat diambil sejajar dengan arah sumbu-sumbu utama denah struktur, kemudian dilakukan analisis getaran bebas, maka pada struktur bangunan gedung beraturan gerak ragam pertamanya akan dominan dalam translasi pada arah salah satu sumbu utamanya, sedangkan gerakan ragam keduanya akan dominan dalam translasi pada arah sumbu utama lainnya. Dengan demikian, struktur 3D dari bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D pada masing-masing arah sumbu utamanya.

Berhubung struktur bangunan gedung dengan bentuk beraturan pada arah masing-masing sumbu utamanya berperilaku sebagai struktur 2D, maka waktu getar alami fundamentalnya pada arah masing-masing sumbu utamanya dapat dihitung dengan rumus Rayleigh yang berlaku untuk struktur 2D. Rumus Rayleigh diturunkan dari hukum kekekalan energi pada suatu struktur 2D yang melendut pada saat bergetar. Dengan menyamakan energi potensial struktur dengan energi kinetiknya, akan didapatkan waktu getar alami dari struktur.

Berdasarkan SNI Gempa 2002 Pasal 4.2.1, struktur bangunan gedung beraturan harus memenuhi beberapa persyaratan sbb. :

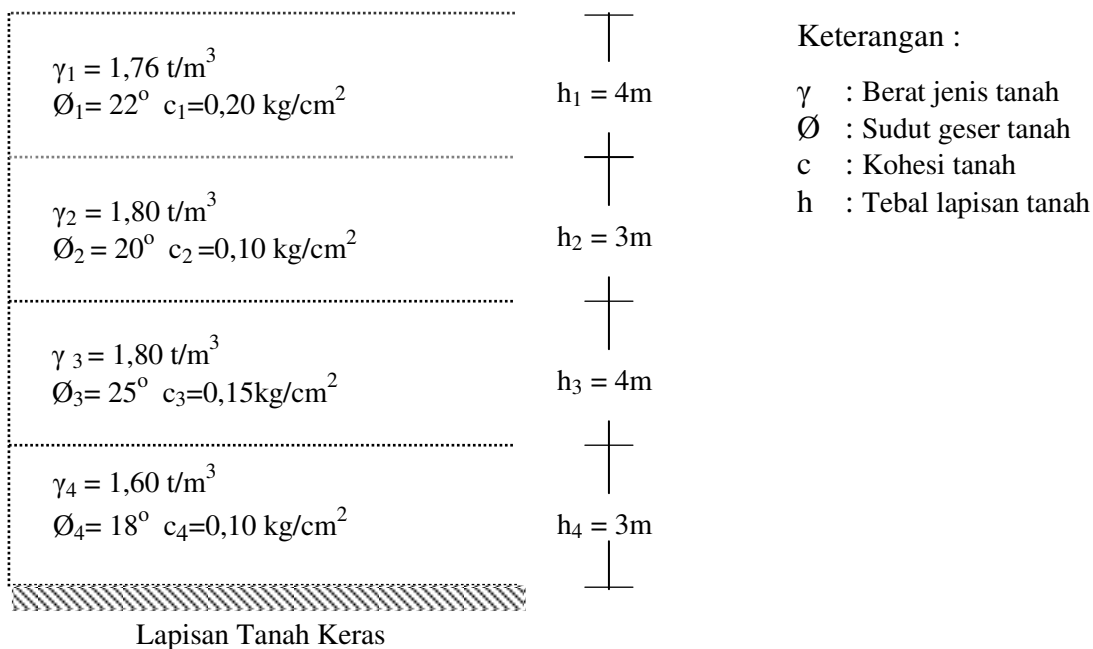
- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan sekalipun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung pada arah tonjolan tersebut
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan sekalipun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung pada arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan sekalipun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang pada masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak suatu tingkat, adalah tingkat dimana kekuatan lateralnya adalah kurang dari 70% kekuatan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekuatan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan

- lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.
- Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau dibawahnya.
 - Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
 - Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Dengan mengacu pada ketentuan-ketentuan di atas dan berdasarkan denah serta konfigurasi bangunan yang ada, gedung perkantoran yang akan dianalisis merupakan struktur bangunan

gedung dengan bentuk yang beraturan. Dengan demikian analisisnya dapat dilakukan dengan metode analisis statik. Apabila struktur bangunan gedung tidak memenuhi ketentuan-ketentuan yang ditetapkan di atas, maka tersebut termasuk struktur bangunan gedung dengan bentuk tidak beraturan. Untuk struktur bangunan gedung dengan bentuk tidak beraturan, pengaruh gempa harus dianalisis secara dinamik. Analisis dinamik struktur terhadap pengaruh gempa dapat dilakukan dengan metode Analisis Ragam, dimana pada metode ini respons terhadap gempa dinamik merupakan superposisi dari respons dinamik sejumlah ragamnya yang berpartisipasi.

Dari hasil penyelidikan tanah, susunan lapisan tanah di bawah bangunan gedung terdiri dari 4 lapisan, dengan karakteristik tanah, seperti pada Gambar 3. Kondisi jenis tanah dapat ditentukan dengan menghitung nilai rata-rata berbobot kekuatan geser tanah (\bar{S}_u) dari lapisan tanah yang terdapat di bawah bangunan.



Gambar 3. Karakteristik lapisan tanah di bawah bangunan

PERHITUNGAN BERAT BANGUNAN (W_T)

Karena besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, maka perlu dihitung berat dari masing-masing lantai bangunan. Berat dari bangunan dapat berupa beban mati akibat berat sendiri struktur, serta beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan. Karena kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan beban hidup yang bekerja penuh pada bangunan adalah kecil, maka beban hidup yang bekerja dapat direduksi besarnya. Berdasarkan standar pembebanan yang berlaku di Indonesia, untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa pada struktur bangunan gedung, beban hidup yang bekerja dapat dikalikan dengan faktor reduksi sebesar 0,3. Dari perhitungan didapatkan berat lantai 1 sampai dengan lantai 4 adalah 272,22 ton, berat lantai 5 (atap) adalah 196,224 ton, dan berat total dari bangunan adalah $W_t = 1285,104$ ton.

WAKTU GETAR EMPIRIS STRUKTUR (T_E)

Karena besarnya beban gempa belum diketahui, maka waktu getar dari struktur belum dapat ditentukan secara pasti. Untuk perencanaan awal, waktu getar dari bangunan gedung pada arah X (T_{Ex}) dan arah Y (T_{Ey}) dapat ditentukan dengan rumus empiris :

$$T_{Ex} = T_{Ey} = 0,06.H^{0,75} \text{ (dalam detik)} \dots\dots\dots(1)$$

Pada rumus di atas, H adalah tinggi bangunan (dalam meter). Untuk $H = 5,3,6 = 18m$, periode getar dari bangunan adalah $T_{Ex} = T_{Ey} = 0,06.(18)^{0,75} = 0,524$ detik. Waktu getar struktur yang didapat dari rumus rumus empiris ini perlu diperiksa terhadap waktu getar sebenarnya dari struktur yang dihitung dengan rumus Rayleigh

FAKTOR KEUTAMAAN STRUKTUR (I)

Menurut SNI Gempa 2002 Pasal 4.1.2, pengaruh Gempa Rencana harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan (I) menurut persamaan :

$$I = I_1.I_2 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana dari gedung. Sedangkan I_2 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan umur rencana dari gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan I_1 , I_2 dan I ditetapkan menurut Tabel 1.

Besarnya beban Gempa Rencana yang direncanakan untuk berbagai kategori bangunan gedung, tergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur bangunan selama umur rencana yang diharapkan. Karena gedung perkantoran merupakan bangunan yang memiliki fungsi biasa, serta dengan asumsi probabilitas terjadinya gempa tersebut selama kurun waktu umur rencana gedung adalah 10%, maka berlaku $I_1 = 1,0$. Gedung-gedung dengan jumlah tingkat sampai 10, karena berbagai alasan dan tujuan pada umumnya mempunyai umur kurang dari 50 tahun, sehingga $I_2 < 1$ karena periode ulang gempa tersebut adalah kurang dari 500 tahun. Gedung-gedung dengan jumlah tingkat lebih dari 30 mempunyai masa layan yang panjang, sehingga $I_2 > 1$ karena periode ulang gempa tersebut adalah lebih dari 500 tahun. Pada contoh ini, bangunan perkantoran direncanakan mempunyai umur rencana 50 tahun, dengan demikian $I_2 = 1$. Untuk bangunan gedung perkantoran dari Tabel 1 didapatkan harga $I = 1$.

Tabel 1. Faktor Keutamaan untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

FAKTOR REDUKSI GEMPA (R)

Jika V_e adalah pembebanan maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur bangunan gedung yang bersifat elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan, dan V_n adalah pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur bangunan gedung, maka berlaku hubungan sebagai berikut :

$$V_n = \frac{V_e}{R} \dots\dots\dots(3)$$

R disebut Faktor Reduksi Gempa yang besarnya dapat ditentukan menurut persamaan:

$$1,6 \leq R = \mu f_1 \leq R_m \dots\dots\dots(4)$$

Pada persamaan di atas, f_1 adalah Faktor Kuat Lebih dari beban dan bahan yang terkandung di dalam sistem struktur, dan μ (mu) adalah Faktor Daktilitas Struktur bangunan gedung. dan R_m adalah Faktor Reduksi Gempa Maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur yang bersangkutan. Pada Tabel 2 dicantumkan nilai R untuk berbagai nilai μ yang bersangkutan, dengan ketentuan bahwa nilai μ dan R tidak dapat melampaui nilai maksimumnya. Untuk struktur bangunan gedung yang direncanakan bersifat elastis penuh pada saat terjadi Gempa Rencana, dari Tabel 2 didapat harga $\mu = 1$ dan $R = 1,6$.

Tabel 2. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastis penuh	1,0	1,6
Daktil parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
Daktil penuh	5,0	8,0
	5,3	8,5

Nilai μ di dalam perencanaan struktur dapat dipilih menurut kebutuhan, tetapi harganya tidak boleh diambil lebih besar dari nilai Faktor Daktilitas Maksimum μ_m . Pada Tabel 3 ditetapkan nilai μ_m dari beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut nilai R_m yang bersangkutan.

Struktur bangunan gedung perkantoran di atas direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen. Sistem struktur ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, dimana beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Dari Tabel 3, untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dari beton bertulang harga $\mu_m = 2,1$ dan $R_m = 3,5$.

Tabel 3. Faktor Daktilitas Maksimum (μ_m), Faktor Reduksi Gempa Maksimum (R_m), Faktor Tahanan Lebih Struktur (f) untuk beberapa jenis sistem struktur gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
	7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8
	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2

memikul beban lateral)				
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

JENIS TANAH DASAR

Menurut SNI Gempa 2002 Pasal 4.6.3, jenis tanah ditetapkan sebagai Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak, apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam Tabel 4.

\bar{v}_s , \bar{N} , dan \bar{S}_u adalah nilai rata-rata berbobot besaran tersebut dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya. PI adalah Indeks Plastisitas tanah lempung. w_n adalah kadar air alami tanah, dan S_u adalah kuat geser niralir lapisan tanah yang ditinjau. Untuk data tanah seperti pada Gambar 3, besarnya kekuatan geser tanah (S_u) untuk setiap lapisan, dapat dihitung dengan rumus :

$$s = c + \gamma h \tan \phi \dots\dots\dots(5)$$

Nilai kekuatan geser untuk setiap lapisan tanah dihitung sebagai berikut :

$$\text{Lapis 1 : } S_{u1} = 0,20 + (0,00176 \cdot 400) \cdot \tan 22^\circ = 0,484 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapis 2 : } S_{u2} = 0,10 + (0,00180 \cdot 300) \cdot \tan 20^\circ = 0,296 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapis 3 : } S_{u3} = 0,15 + (0,00180 \cdot 400) \cdot \tan 25^\circ = 0,486 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lapis 4 : } S_{u4} = 0,10 + (0,00160 \cdot 300) \cdot \tan 18^\circ = 0,256 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan geser niralir rata-rata (\bar{S}_u) :

$$\begin{aligned} \bar{S}_u &= (S_{u1} \cdot h_1 + S_{u2} \cdot h_2 + S_{u3} \cdot h_3 + S_{u4} \cdot h_4) / (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \\ &= (0,484 \cdot 400 + 0,296 \cdot 300 + 0,486 \cdot 400 + 0,256 \cdot 300) / (400 + 300 + 400 + 300) \\ &= 553,6 / 1400 = 0,395 \text{ kg/cm}^2 = 39,5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

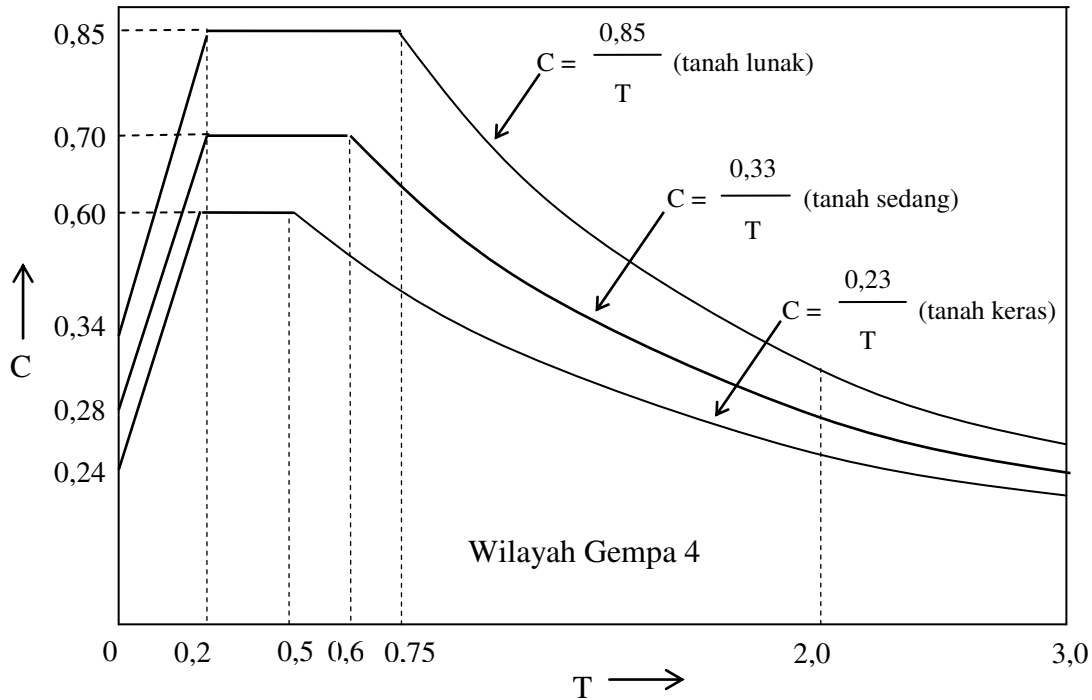
Dari Tabel-4, untuk nilai $\bar{S}_u = 39,5 \text{ kPa} < 50 \text{ kPa}$, maka jenis tanah ini merupakan tanah lunak.

FAKTOR RESPON GEMPA (C)

Setelah dihitung waktu getar dari struktur bangunan pada arah-X (T_x) dan arah-Y (T_y), maka harga dari Faktor Respon Gempa (C) dapat ditentukan dari Diagram Respon Spektrum yang sesuai (Gambar 4). Untuk Wilayah Gempa 4 dan jenis tanah di bawah bangunan merupakan tanah lunak, untuk waktu getar $T_{Ex} = T_{Ey} = 0,524$ detik, dari Diagram Respon Spektrum didapatkan harga $C = 0,85$.

Tabel 4. Jenis-Jenis Tanah

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata \bar{V}_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata \bar{N}	Kuat geser niralir rata-rata \bar{S}_u (kPa)
Tanah Keras	$\bar{V}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{V}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25 \text{ kPa}$		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		



Gambar 4. Respon Spektrum untuk Wilayah Gempa 4

BEBAN GESER DASAR NOMINAL STATIK EKUIVALEN

Beban geser dasar nominal statik ekuivalen akibat gempa (V) yang bekerja pada struktur bangunan gedung, dapat ditentukan dari rumus:

$$V = \frac{CI}{R} W_t \dots\dots\dots (6)$$

Dengan menggunakan rumus di atas, didapatkan beban geser dasar dalam arah-X (V_x) dan arah-Y (V_y) adalah :

$$V_x = V_y = \frac{0,85 \cdot 1}{1,6} 1285,104 = 682,7 \text{ ton}$$

V_x dan V_y harus didistribusikan di sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa statik ekuivalen yang bekerja pada pusat massa lantai-lantai tingkat.. Besarnya beban statik ekuivalen (F_i) pada lantai tingkat ke- i dari bangunan dihitung dengan rumus :

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \dots\dots\dots (7)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup yang sesuai (direduksi), z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf penjepitan lateral struktur bangunan, dan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.

Jika perbandingan antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka $0,1V$ harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan $0,9V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen.

Pada arah-X, lebar dari bangunan adalah $B = 20$ m, dan tinggi dari bangunan $H = 18$ m. Karena perbandingan antara tinggi dan lebar dari bangunan : $H/B = 18/20 = 0,9 < 3$, maka seluruh beban gempa V_x , distribusikan menjadi

beban-beban terpusat yang bekerja di setiap lantai tingkat di sepanjang tinggi bangunan.

Pada arah-Y, lebar dari bangunan : $B = 15$ m, dan tinggi dari bangunan : $H = 18$ m. Karena perbandingan antara tinggi dan lebar bangunan : $H/B = 18/15 = 1,2 < 3$, maka seluruh beban gempa V_y didistribusikan menjadi beban-beban terpusat yang bekerja di setiap lantai di sepanjang tinggi bangunan.

Distribusi beban gempa di setiap lantai dari bangunan gedung pada arah-X dan arah-Y, tergantung dari banyaknya struktur portal yang ada. Dari denah struktur bangunan, dapat dilihat bahwa pada arah-X terdapat 4 buah portal, dan pada arah-Y terdapat 5 buah portal. Distribusi beban gempa sepanjang tinggi bangunan pada arah-X (F_{ix}) dan arah-Y (F_{iy}) ditunjukkan pada Tabel 5.

SIMPANGAN HORISONTAL STRUKTUR

Akibat beban gempa statik ekuivalen yang bekerja disepanjang tinggi bangunan, maka struktur akan mengalami simpangan kearah horisontal. Besarnya simpangan horisontal perlu dihitung untuk menentukan waktu getar alami fundamental sebenarnya dari struktur. Besarnya simpangan horisontal dari struktur untuk portal arah-X dan portal arah-Y dapat dihitung dengan bantuan komputer. Dari hasil analisis struktur dengan program komputer untuk portal arah-X dan portal arah-Y, didapatkan simpangan horisontal dari struktur seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.

WAKTU GETAR ALAMI FUNDAMENTAL STRUKTUR

Setelah distribusi beban gempa pada bangunan gedung diketahui, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap waktu getar sebenarnya dari struktur dengan menggunakan Rumus Rayleigh. Waktu getar sebenarnya untuk setiap arah dari bangunan, dihitung berdasarkan besarnya simpangan horisontal yang terjadi pada struktur bangunan akibat gaya gempa horisontal. Simpangan horisontal

dari struktur bangunan dapat dihitung berdasarkan analisis struktur secara manual, atau dengan menggunakan program komputer. Waktu getar alami fundamental (T_R) dari struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T_R = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai (direduksi), z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral, F_i adalah beban gempa statik ekuivalen pada lantai tingkat ke-i, d_i adalah simpangan horisontal lantai tingkat ke-i, g adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 980 cm/det^2 , dan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.

Waktu getar struktur yang dihitung dengan rumus empiris (T_E) untuk penentuan harga C , nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai waktu getar alami fundamental dari struktur yang dihitung dengan rumus Rayleigh (T_R). Jika antara nilai T_E dan T_R berbeda lebih dari 20%, maka perlu dilakukan analisis ulang.

Untuk bangunan gedung lima lantai, waktu getar alami fundamental dari struktur (T_R) dihitung dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

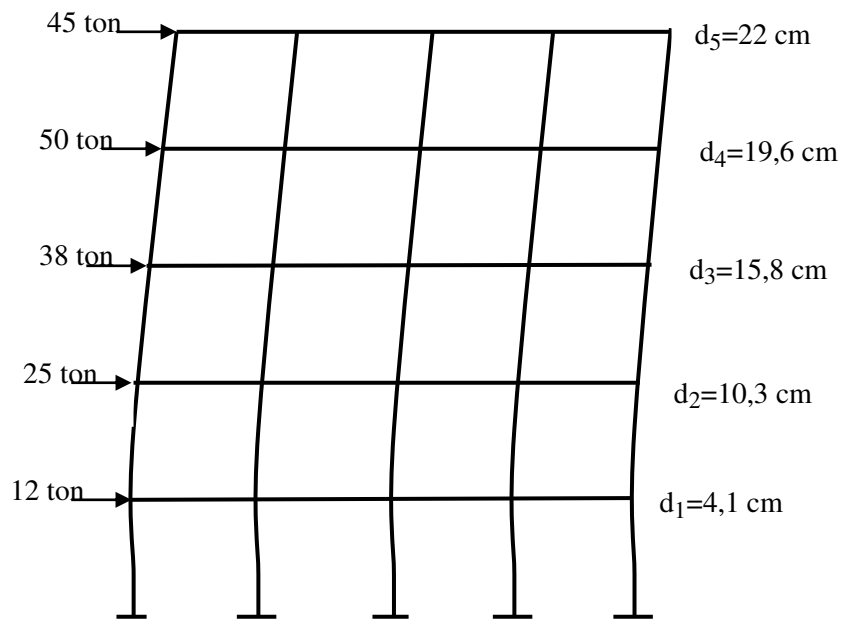
$$T_R = 6,3 \left(\frac{W_1 \cdot d_1^2 + W_2 \cdot d_2^2 + W_3 \cdot d_3^2 + W_4 \cdot d_4^2 + W_5 \cdot d_5^2}{g \cdot (F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3 + F_4 \cdot d_4 + F_5 \cdot d_5)} \right)^{0,5} \dots (9)$$

dimana :

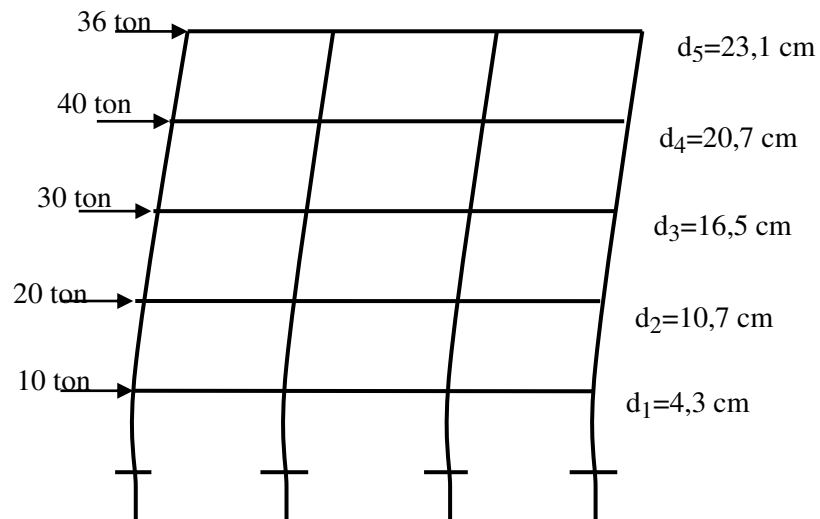
- W_1 s/d W_5 = Berat lantai 1 s/d lantai 5 dari bangunan gedung
- d_1 s/d d_5 = Simpangan pada lantai 1 s/d 5 akibat beban gempa horisontal F
- F_1 s/d F_5 = Beban gempa horisontal yang bekerja pada lantai 1 s/d lantai 5
- g = Percepatan gravitasi = 980 cm/dt^2

Tabel 5. Distribusi Beban Gempa Pada Bangunan (Perhitungan I)

Lantai	z_i (m)	W_i (ton)	$W_i \cdot z_i$	$F_{ix} = F_{iy}$ (ton)	Untuk tiap portal Arah X	Untuk tiap portal Arah Y
					$1/4 F_{ix}$ (ton)	$1/5 F_{iy}$ (ton)
5	18	196,22	3532	181	45	36
4	14,40	272,22	3920	201	50	40
3	10,8	272,22	2940	151	38	30
2	7,2	272,22	1960	100	25	20
1	3,6	272,22	980	50	13	10
			13332			



Gambar 5. Simpangan horizontal portal arah-X akibat beban gempa



Gambar 6. Simpangan horizontal portal arah-Y akibat beban gempa

Perhitungan T_R untuk portal arah-X dan arah-Y ditabelkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Perhitungan waktu getar alami struktur arah-X (Perhitungan I)

Lantai	W_i (ton)	d_i (cm)	d_i^2	F_{ix}	$W_i \cdot d_i^2$	$F_{ix} \cdot d_i$
5	196,22	22	484	181	94970	3981
4	272,22	19.8	392	201	106721	3976
3	272,22	15.8	250	151	67957	2380
2	272,22	10.3	106	100	28880	1034
1	272,22	4.1	17	50	4576	206
					303104	11577

$$T_{Rx} = 6,3 \left[\frac{303104}{980 \cdot (11577)} \right]^{0,5} = 1,03 \text{ detik}$$

Tabel 7. Perhitungan waktu getar alami struktur arah-Y (Perhitungan I)

Lantai	W_i (ton)	d_i (cm)	d_i^2	F_{iy}	$W_i \cdot d_i^2$	$F_{iy} \cdot d_i$
5	196,22	23.1	534	181	104705	4180
4	272,22	20.7	428	201	116644	4157
3	272,22	16.5	272	151	74112	2485
2	272,22	10.7	114	100	31166	1074
1	272,22	4.3	18	50	5033	216
					331660	12112

$$T_{Ry} = 6,3 \left[\frac{331660}{980 \cdot (12112)} \right]^{0,5} = 1,05 \text{ detik}$$

Karena waktu getar alami fundamental dari portal arah-X ($T_{Rx} = 1,03$ detik) dan portal arah-Y ($T_{Ry} = 1,05$ detik) yang dihitung dengan Rumus Rayleigh lebih besar dari waktu getar struktur bangunan yang didapat dengan rumus empiris ($T_E = 0,524$ detik) dengan selisih yang lebih dari 20%, maka perlu dilakukan perhitungan ulang untuk penentuan distribusi beban gempa pada struktur.

Untuk perhitungan II ini, waktu getar dari struktur bangunan dapat diperkirakan dengan mengambil harga 1,03 detik. Dari Diagram Respons Spektrum, didapatkan harga $C = 0,85/T = 0,85/1,03 = 0,82$. Dengan harga $C =$

0,82, besarnya beban geser dasar nominal horisontal akibat gempa yang bekerja pada struktur bangunan gedung adalah :

$$V = \frac{C I}{R} W_t = \frac{0,82 \cdot 1}{1,6} 1285,104 = 658,6$$

ton

Beban geser dasar nominal $V = 658,6$ ton ini kemudian didistribusikan di sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa statik ekuivalen, kemudian dilakukan prosedur perhitungan yang sama seperti pada perhitungan yang pertama.

Perhitungan kedua untuk untuk mendapatkan waktu getar alami fundamental dari struktur diperlihatkan pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Tabel 8. Distribusi Beban Gempa Pada Bangunan (Perhitungan II)

Lantai	z_i (m)	W_i (ton)	$W_i \cdot z_i$	$F_{ix} = F_{iy}$ (ton)	Untuk tiap portal Arah X	Untuk tiap portal Arah Y
					$1/4 F_{ix}$ (ton)	$1/5 F_{iy}$ (ton)
5	18	196,22	3532	174	44	35
4	14,40	272,22	3920	194	48	39
3	10,8	272,22	2940	145	36	29
2	7,2	272,22	1960	97	24	19
1	3,6	272,22	980	48	12	10
			13332			

Tabel 9. Perhitungan waktu getar alami struktur arah-X (Perhitungan II)

Lantai	W_i (ton)	d_i (cm)	d_i^2	F_{ix}	$W_i \cdot d_i^2$	$F_{ix} \cdot d_i$
5	196,22	21.3	454	174	89023	3716
4	272,22	19.1	365	194	99309	3699
3	272,22	15.2	231	145	62894	2208
2	272,22	9.9	98	97	26680	959
1	272,22	4	16	48	4356	194
					282261	10775

$$T_{Rx} = 6,3 \left[\frac{282261}{980 \cdot (10775)} \right]^{0,5} = 1,03 \text{ detik}$$

Tabel 10. Perhitungan waktu getar alami struktur arah-Y (Perhitungan II)

Lantai	W_i (ton)	d_i (cm)	d_i^2	F_{iy}	$W_i \cdot d_i^2$	$F_{iy} \cdot d_i$
5	196,22	22.4	502	174	98455	3908
4	272,22	20.1	404	194	109980	3892
3	272,22	16	256	145	69688	2324
2	272,22	10.4	108	97	29443	1007
1	272,22	4.1	17	48	4576	198
					312143	11330

$$T_{Ry} = 6,3 \left[\frac{312143}{980 \cdot (11330)} \right]^{0,5} = 1,06 \text{ detik}$$

Dari hasil perhitungan II ini di dapatkan waktu getar alami struktur arah-X ($T_{Rx} = 1,03$ detik) dan arah-Y ($T_{Ry} = 1,06$ detik). Karena T_R yang

didapat dari perhitungan II ini sama atau mendekati harga T_R yang didapat dari perhitungan pada langkah pertama ($T_{Rx} = 1,03$ detik $T_{Ry} = 1,05$ detik), maka besarnya T_R dari struktur bangunan gedung perkantoran adalah $T_{Rx} = 1,03$ detik dan $T_{Ry} = 1,05$ detik.

PEMBATASAN WAKTU GETAR ALAMI STRUKTUR

Selain harus memenuhi syarat kekuatan, suatu sistem struktur bangunan gedung harus mempunyai kekakuan yang cukup agar tidak terjadi deformasi yang berlebihan pada saat terjadi gempa. Oleh karena itu penggunaan struktur bangunan gedung yang terlalu fleksibel sebaiknya dihindari. Pada Pasal 5.6 di dalam SNI Gempa 2002 disebutkan bahwa untuk mencegah penggunaan struktur bangunan gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental dari struktur gedung harus dibatasi. Pembatasan waktu getar fundamental dari suatu struktur gedung dimaksudkan untuk:

- untuk mencegah Pengaruh P-Delta yang berlebihan;
- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama, yaitu untuk menjamin kenyamanan penghunian dan membatasi kemungkinan terjadinya kerusakan struktur akibat pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, maupun kerusakan non-struktural.
- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa maksimum, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang menelan korban jiwa manusia;
- untuk mencegah kekuatan (kapasitas) struktur terpasang yang terlalu rendah, mengingat struktur gedung dengan waktu getar fundamental yang panjang menyerap beban gempa yang rendah (terlihat dari Diagram Spektrum Respons), sehingga gaya internal yang terjadi di dalam unsur-unsur struktur menghasilkan kekuatan terpasang yang rendah.

Pembatasan waktu getar alami fundamental dari struktur bangunan gedung tergantung dari banyaknya jumlah tingkat (n) serta koefisien ζ untuk Wilayah Gempa dimana struktur bangunan gedung tersebut didirikan. Pembatasan waktu getar alami fundamental (T) dari struktur bangunan gedung ditentukan menurut persamaan :

$$T < \zeta \cdot n \dots\dots\dots (10)$$

Dimana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 11.

Tabel 11. Koefisien ζ untuk membatasi waktu getar struktur

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Untuk gedung perkantoran lima lantai ($n=5$) yang terletak di Wilayah Gempa 4 ($\zeta=0,17$), T maksimum dari struktur yang diijinkan adalah : $T = \zeta n = 0,17 \cdot 5 = 0,85$ detik.

T dari struktur bangunan gedung perkantoran yang didapat dari perhitungan dengan rumus Rayleigh adalah $T_{Rx} = 1,03$ detik $> T = 0,85$ detik, dan $T_{Ry} = 1,06$ detik $> T = 0,85$ detik. Karena T dari struktur bangunan gedung perkantoran lebih besar dari 0,85 detik, maka struktur bangunan gedung ini sangat fleksibel baik pada arah-X maupun arah-Y, sehingga perlu dilakukan perubahan pada dimensi dari elemen-elemen struktur, khususnya dimensi kolom-kolom struktur.

KINERJA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG

Pasal 8.1. SNI Gempa 2002 menyatakan bahwa, kinerja batas layan struktur bangunan gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat (δ) akibat pengaruh Gempa Rencana, yang bertujuan untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktural dan ketidaknyamanan penghuni. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur bangunan gedung, dalam segala hal δ yang dihitung dari simpangan struktur tidak boleh melampaui $\delta_1 = 0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan, atau $\delta_2 = 30$ mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. Perhitungan δ dari struktur pada arah-X dan arah-Y dicantumkan pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Perhitungan simpangan antar tingkat portal arah-X

Lantai	Tinggi tingkat h (mm)	Simpangan struktur d_i (mm)	Simpangan antar tingkat δ_i (mm)	$\delta_1=0,03/R.h$ (mm)	δ_2 (mm)
5	3600	220	22	67,5	30
4	3600	198	40	67,5	30
3	3600	158	55	67,5	30
2	3600	103	62	67,5	30
1	3600	41	41	67,5	30
Pondasi		0			

Tabel 13. Perhitungan simpangan antar tingkat portal arah-Y

Lantai	Tinggi tingkat h (mm)	Simpangan struktur d_i (mm)	Simpangan antar tingkat δ_i (mm)	$\delta_1=0,03/R.h$ (mm)	δ_2 (mm)
5	3600	231	24	67,5	30
4	3600	207	42	67,5	30
3	3600	165	58	67,5	30
2	3600	107	64	67,5	30
1	3600	43	43	67,5	30
Pondasi		0			

Dari hasil perhitungan, δ untuk lantai 1 sampai dengan lantai 4 untuk arah-X maupun arah-Y menunjukkan harga yang lebih besar dari $\delta_2 = 30$ mm, kecuali untuk lantai 5, yaitu 22 mm (arah-X) dan 24 mm (arah-Y). Dengan demikian kinerja dari struktur bangunan perkantoran ini tidak memenuhi ketentuan seperti yang disyaratkan.

KESIMPULAN

1. Struktur 3D bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D pada masing-masing arah sumbu utamanya (arah-X dan arah-Y), dengan demikian waktu getar alami pada arah masing-masing sumbu utamanya dapat dihitung dengan menggunakan rumus Rayleigh yang berlaku untuk struktur 2D. Pada metode ini waktu getar alami yang ditinjau hanya untuk ragam getar struktur yang pertama saja. Waktu getar ragam pertama dari struktur sering
2. Untuk struktur bangunan gedung dengan bentuk yang beraturan, analisis distribusi beban gempa pada bangunan gedung dapat dilakukan secara statik dengan menggunakan Metode Analisis Statik Ekuivalen. Metode analisis ini bersifat *trial and error*, sehingga untuk mendapatkan hasil yang akurat diperlukan proses perhitungan yang berulang. Pada contoh perhitungan di atas, dilakukan dua kali proses pengulangan perhitungan untuk mendapatkan waktu getar alami

fundamental (T) struktur. Pada arah-X, waktu getar struktur gedung perkantoran pada perhitungan awal = 0,524 detik, pada perhitungan I = 1,03 detik, dan pada perhitungan II = 1,03 detik. Dengan demikian T struktur gedung perkantoran pada arah-X adalah 1,03 detik. Pada arah-Y, waktu getar struktur pada perhitungan awal = 0,524 detik, pada perhitungan I = 1,05 detik, dan pada perhitungan II = 1,06 detik. Pada arah-Y meskipun T struktur yang didapat dari perhitungan I dan II belum tepat sama, tapi tidak perlu dilakukan perhitungan ulang. Hal ini dijelaskan dalam SNI Gempa 2002 bahwa, jika perbedaan antara nilai T struktur yang didapat dari perhitungan tidak lebih dari 20% dari nilai yang didapat dari perhitungan sebelumnya, maka tidak perlu dilakukan perhitungan ulang. Dengan demikian dapat dianggap bahwa T struktur gedung perkantoran pada arah-Y adalah 1,05 detik.

3. Untuk mendapatkan konfigurasi sistem struktur yang baik dimana struktur bangunan gedung mempunyai kekakuan yang cukup serta mempunyai kinerja yang baik pada saat terjadi gempa, maka SNI Gempa 2002 menyaratkan pembatasan T struktur dan pemeriksaan kinerja struktur gedung. Dari hasil analisis sistem struktur bangunan gedung perkantoran dengan dimensi balok dan kolom struktur adalah 45/30 cm dan 45/45 cm, didapatkan hasil sbb. :

- T dari struktur pada arah-X ($T_{Rx} = 1,03$ detik) dan arah-Y ($T_{Ry} = 1,06$ detik)

lebih besar dari T maksimum yang disyaratkan yaitu 0,85 detik.

- Kecuali lantai 5, simpangan antar tingkat yang terjadi pada lantai 1 sampai dengan lantai 4 akibat beban gempa, lebih besar dari simpangan antar tingkat maksimum yang disyaratkan yaitu $\delta = 30$ mm.

Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa konfigurasi dari sistem struktur bangunan gedung perkantoran yang direncanakan semula dengan balok dan kolom berdimensi 45/30 cm dan 45/45 cm, tidak memenuhi persyaratan. Untuk itu konfigurasi struktur perlu dirubah, misalnya dengan mengganti dimensi kolom yang semula 45/45 cm menjadi 50/50 cm. Dengan adanya perubahan dimensi dari kolom-kolom struktur, maka perlu dilakukan lagi perhitungan ulang untuk menentukan waktu getar alami fundamental struktur serta distribusi beban gempa pada disepanjang tinggi bangunan gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- SNI-03-1726-2002 : “*Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung*”, Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- PT. Wiratman & Associates: “*Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Senayan Residence*”, Jakarta, 2004.
- Himawan I. : “*Buku Ajar Rekayasa Gempa*”, Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang, 2002